

基于知识点关系的学习导航系统建模方法研究^{*}

陈其晖 徐海宁 凌培亮

(同济大学现代远程教育研究所 上海 200092)

摘要 学习导航系统的目的在于避免学习者在学习过程中“迷失”方向和提高学习效率,并能在一定程度上消除“孤独”感,其关键是系统能够提供高效的导航机制,指导学习者完成学习任务。本文基于 Petri 网建模工具,利用知识结构理论和知识点关系对导航系统建模方法进行了探讨,并着重强调学习者的个性化学习,结合利用相关鱼眼图和感知处理技术建立了一套个性化学习导航系统。

关键词 知识点关系,导航系统, Petri 网,鱼眼图,感知处理

Research of Modeling Method in Learning Navigation System Based on Relation between Knowledge Nodes

CHEN Qi-Hui XU Hai-Ning LING Pei-Liang

(E-Learning Institute, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract The key point of learning navigation system lies in its high efficiency to direct learners to achieve their study tasks in order to avoid losing in the study, improving learning efficiency and reducing the feeling of loneliness to some extent. This article discussed modeling method for navigation system with Petri Net based on knowledge structure and relation between knowledge nodes, and what's more, made the model of personalized Learning Navigation system paying much attention to personalized study of learner based on the technique of fish eye view and awareness processing.

Keywords Relation between knowledge nodes, Navigation system, Petri net, Fish eye view, Awareness processing

1 引言

导航是超媒体(Hypermedia)信息环境的一大特色。所谓超媒体导航是指将无序的网络信息按照一定的逻辑结构或框架加以组织的过程,其主要的技术就是超文本(Hypertext)技术。超文本是信息的一种非线性组织方式,它将信息按内容划分成一个个单元,同时按它们之间的语义关系进行链接。信息单元通过“链”连接成网状结构,称为超文本网络(Hypertext Network)。超文本的弊端主要有两个:一个是“负担”问题,一个是“迷路”问题。以超媒体技术主要组织技术的网络自主学习系统也同样存在着这个问题:一是用户不知道当前所处结点的具体位置,二是用户不知道怎样才能到达想去的结点^[1,2]。在虚拟学习环境中需要解决的另外一个问题是学习者感觉“孤独”问题,即如何在虚拟化学习环境中让学习者感知到学习伙伴的存在,避免“孤独”。

基于超媒体技术构建的网络学习中,同样存在着以上两个问题。根据相关学习理论,可以得出教学者必须提供明确的知识结构和学习顺序,学习者才能不至于在学习过程“迷失”方向。特别是在基于网络的学习环境中,以学习者自主学习为主,因此学习者对学习导航的需求更加迫切,直接关系到网络学习的质量和效率。本文中利用 Petri 网和知识空间理论,通过分析知识点之间的关系建立了超媒体模型,并利用此模型和鱼眼图、感知处理技术建立了网络学习的导航系统,给学习者提供一个清晰的导航环境,指引学习者顺利完成学习任务。

2 研究背景

2.1 知识结构理论

知识空间概念模型框架的背景理论是由 Dietrich Albert 等人提出的知识空间理论^[3,4],其基本思想是对学生的知识描述可表示为一个集合,集合元素是学生所能解决的一组问题,知识状态集受问题之间的必要关系约束。在知识空间中,知识域由一个有限问题集合表示,即学生能或不能解决的问题。每个学生可由一个知识状态描述,即学生所能解决问题的集合。知识状态的集合受问题之间必要关系的约束,约束知识状态集的必要关系是问题集合 Q 上的拟序(quasi-ordinal)关系,它可以解释为:如果能够正确解决问题 q' ,则可以推测出能够正确解决问题 q ,也可以说,解决 q 是解决 q' 的前提条件。这样利用知识空间的理论就可以建立学习状态空间。在本文中就是利用此理论建立导航系统的领域模型(Domain Model)和用户模型(User Model)。

2.2 超文本结构的关系数学模型

要把建模技术应用于超文本技术中,必须对超文本技术进行数学上的描述。参照 Dexter 参考模型,Albert 等人提出了超文本结构的关系数学模型^[5]。在 Dexter 模型中,一个超文本由一组元素和元素间的一组链接组成。一个元素包括一个基本信息单元和基本信息单元中与链接相关的信息(源锚和目标锚);链接由源锚、目标锚及其所在的元素表示。Albert 的超文本结构的数学模型可形式化描述如下:

设 B, S, D 分别表示超文本的基本信息单元集、源锚集和

^{*} 本文受到国家自然科学基金重点项目(70531020)和国家发改委 CNGI 计划子项目(CNGI-04-15-5A-2)资助。陈其晖 副研究员,博士研究生,主要研究方向为控制工程与控制理论、系统动力学、远程教育等领域;徐海宁 高级工程师,博士研究生,主要从事远程教育系统设计、网络课程开发、智能评估等研究;凌培亮 教授,博士,博士生导师,主要研究方向为控制工程与控制理论、工业工程等领域。

目标锚集。

定义 1 一个超文本的元素是一个三元组,它由一个基本信息单元及该基本信息单元所涉及的源锚子集、目标锚子集组成。元素集合

$$C = \{c | c = b(S_c, D_c) \in (B \times 2^B \times 2^B)\}$$

其中基本信息单元 $b \in B$, 源锚子集

$$S_c \in S, \text{目标锚子集 } D_c \in D.$$

定义 2 集合

$$L = \{l | l = ((c, s_c), (c', d_c)), s_c \in S_c, d_c \in D_c\} \subseteq (C \times S)$$

$\times (C \times D)$ 称为超文本的链接集。

其中, 一个链接

$l = ((c, s_c), (c', d_c))$ 连接元素 c 中的源锚 s_c 和元素 c' 中的目标锚 d_c 。

2.3 知识点之间的关系及导航策略

在领域知识库中, 知识点和知识点间的联系不是孤立的, 不同知识点间的联系也不一样, 因而学习的结构和先后顺序也是不一样的, 既要考虑到知识点的学习前后顺序关系, 也要考虑到知识学习的完整性。考虑到学习导航以及领域知识库建立的需要, 知识点间的联系划分为如下四种关系^[6]:

(1) 辈份关系。儿子的知识点是否可学习, 取决于父亲知识点是否学习过。对于父辈关系的知识点导航策略, 必须学完该知识组织关系中的所有知识点, 才能继续往下学习, 保证了知识学习的完整性。

(2) 依赖关系。一个知识点是否可以学习往往取决于另一些知识点是否学习过, 或者说后者是前者的预备知识; 对于依赖关系的知识点导航策略, 必须是考虑保持先后学习的顺序, 也就是说必须学完知识点的所有前提知识点才能往下学习。

(3) 参考关系。一个知识点所涉及的领域知识与其它知识点有关, 这些知识点通常有部分或全部相同的主题词, 但它们的依赖关系是不明确的; 对于参考关系的知识点导航策略, 提供给感兴趣的学习者 see also 或是帮助等链接功能。

(4) 兄弟关系。指上述知识点划分过程中某一复合知识点的兄弟关系的子知识点之间的相互关系。这些子知识点是从不同的侧面、不同的角度、不同的范畴围绕某一局部领域知识阐述, 它们所描述的内容是紧密联系的。对于兄弟关系知识点导航策略, 学习者学习时必须是一个整体进行学习, 一旦开始某一个兄弟关系知识点的学习, 必须学完该知识的所有兄弟知识点才能进行别的知识点的学习。

其数学模型可以用如下的形式化语言描述:

定义 3 对于任意的子集 $P \subseteq S$, 当且仅当 $s \in P$ 时, 连接 $l = ((c, s_c), (c', d_c))$ 称为 P 连接; 集合 $L^P = \{l | l = ((c, s_c), (c', d_c)) \in L, s \in P\}$ 代表所有的 P 连接。

定义 4 对于一个超文本 $H = (C, L)$, $\forall c, c' \in C$, 可得到 $c \vdash^P c'$, 当且仅当 $\exists l = ((c, s), (c', d)) \in L^P$ 元素集上的 P 链接关系 $\vdash^P \subseteq C \times C$ 。在此本文定义如下四种关系:

- (1) 辈份关系。用 $\vdash^H \subseteq C \times C$ 表示元素之间的辈份关系;
- (2) 依赖关系。用 $\vdash^D \subseteq C \times C$ 表示元素之间的依赖关系;
- (3) 参考关系。用 $\vdash^R \subseteq C \times C$ 表示元素之间的参考关系;
- (4) 兄弟关系: 用 $\vdash^B \subseteq C \times C$ 表示元素之间的兄弟关系。

3 学习导航系统模型

3.1 学习导航系统模型

本系统的学习导航系统模型由三层组成, 分别是表现层、控制层和内容层, 如图 1 所示。

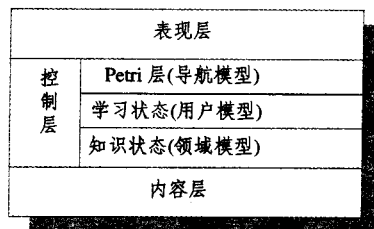


图 1 学习导航系统模型

(1) 表现层: 提供知识点内容的呈现和链接关系的呈现, 并保持当前学习者学习信息, 以学习者学习界面为表现形式;

(2) 控制层: 负责领域知识状态和学习者学习状态的控制, 并通过它来控制表现层进行数据交互, 控制表现层的呈现, 同时保留知识状态和学习者学习状态的信息;

(3) 内容层: 包含具体领域知识点元素的物理文件, 由图片、文字、动画、声音以及程序等组成;

在模型中表现层、控制层是相对独立的, 表现层主要负责知识点内容和链接的显示和锚接, 它状态的变化只能通过控制层才能实现。例如修改链接的状态, 一旦变更以后除非下一次再变更, 表现层的链接内容维持不变。也就是说, 一旦某一个链接显示出来以后, 对于某个学习者来讲, 这个链接一直保持有效。

表现层由超文本结构的关系数学模型来建模, 页面上的每一个链接, 由链接集 L 属性来控制其链接是否显示或是可用。表现层用三元组 $LP = (H, D, LI, A, F)$, 其中 $H = (C, L)$ 是一个超文本, D 是每个链接是否显示或可用的集合, 是个 Boolean 值集。例如 $\{l, \text{ture}\}$ 就表示该链接是可用的。LI 代表学习者学习知识点的历史信息, 包括知识点的学习次数、学习时间、学习路径等信息。A 代表知识点的感知空间导航。F 代表知识点的相关鱼眼视图导航。

控制层由知识状态(领域模型)、学习状态(用户模型)、Petri 层(导航模型)三子层次组成。运用知识结构理论, 把知识领域内的知识组织起来, 并利用知识结构的知识状态构成了该领域知识模型。它受问题之间的必要关系约束, 在本系统中必要的约束关系就是知识点之间的关系。本文通过一个具有 6 个学习内容的例子来说明上面的知识结构, abcdef 是 6 个学习内容或是项, 它们之间的关系可以用图 2 表示。

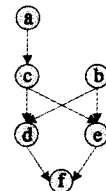


图 2 6 个学习内容的关系图

学习内容 a, b 没有前提, 学习内容 c 的前提是 a , 学习内容 d 的前提是 abc , 学习内容 e 的前提也是 abc , 学习内容 f 的前提是 $abcde$ 。根据上面的知识结构的定义可以得出上图的知识结构:

$$\kappa = \{\phi, a, b, ab, ac, abc, abcd, abce, abcde, abcdef\}$$

知识结构 κ 的元素就是该学习内容的所有可能的知识状态。

学习状态是学习者掌握知识点的情况,它构成了系统的用户模型,每个学习者的学习状态都可以用上面知识结构的知识点状态来表示。例如知识状态元素 $K = \{abcd\}$ 就代表学习者已经掌握了 $abcd$ 知识内容,学习状态用 $k = \{\phi, a, b, ab, ac, abc, abcd\}$ 表示。

导航模型由 Petri 技术来构建,也是与表现层的接口和通讯层。每个学习者 Petri 网的库所表示知识点,库所的托肯代表该知识点已经学习完成;迁移代表链接,只有满足条件的迁移才能被触发,其相对应的就是链接是否可以变成有效。

3.2 学习导航系统建模

本文提出了基于 Petri 网的学习导航模型建模技术。Petri 网是德国 C. A. Petri 在 1962 年他的博士论文中首先提出的^[7]。Petri 网是用于描述分布式系统的、用网状图形表示的系统模型。它既能描述系统的结构,又能模拟系统的运行。传统的 Petri 网可以用四元组 $PN = \{P, T, F, M_0\}$ 来描述,但是传统的 Petri 网建模方法并不能表示超媒体系统中的导航问题^[5]。本文通过对传统 Petri 网进行改造,用 Petri 的建模技术建立基于知识点关系的导航系统。

定义 5 一个基于知识点关系的导航系统模型可以用 $KN = \{LP, N, C, L, R, PR\}$ 六元组来表示。其中:

LP : $LP = (H, D, LI, F, A)$ 是表现层形式化描述;

N : $N = \{P, T, F, M_0\}$ 是一个 Petri 网;

C : 知识点的内容集;

L : 链接集;

R : 知识点之间的关系, $N \times N$;

PR : 是一个映射函数: $P \rightarrow C, T \rightarrow L, F \rightarrow R$ 。

该模型具有以下特点:

(1) 每个库所的托肯就代表学习者已经学习和掌握了该库所对应的知识点的内容。每个迁移触发就代表一个链接的触发,迁移是否可以触发就代表该链接是否在当时是有效的;

(2) 利用 Petri 网建立的领域知识模型,领域模型的所有知识状态可以通过计算 Petri 网可达标识集来获得;

(3) 每个学习者当前 Petri 网标识 M , 就是用户模型,即每个学习者学习状态。

(4) 教师可以通过设置 M_0 初值来为每个不同层次和特点的学习者提供不同的学习内容和学习路径,体现了针对用户特点的适应性;

(5) 一旦触发了一个变迁以后, Petri 层就会通知表现层改变链接的显示属性。在下次浏览同一个知识内容,显示的相关内容的链接有可能是不同的,在初次进入该知识点学习时,只显示有效的链接,而不是把所有的链接都显示出来,这样可以在最大程度上避免初学者容易“迷路”的问题,而对与再次进行复习的学习者来说又可以把前面学过的知识点进行贯通,通过学习的链接关系来加强学习的效率;

(6) 通过表现层和控制层的相对独立,可以灵活控制知识点链接属性和控制学习者学习的路径。

4 基于知识点关系导航机制

建立了基于知识点关系的导航模型以后就可以设计系统的导航机制。为了更好地解决超媒体系统中的“负担”和“迷失”两类问题,本系统提供了三大类的导航机制:全局的导航、个性化的导航和知识点关系导航,下面分别来介绍它们的导

航机制。

4.1 全局导航

全局导航就是提供基于所有知识点的导航机制,可以分成如下几种:

(1) 导航图导航。系统设置一个导航图,它是以图形化的方式,表示出超文本学习网络的结构图,图中包含有超文本学习网络结构中的节点及节点之间的联系,给学习者一个全局的概念。知识点的状态分成两种已经掌握的知识点和未开始学习的知识点,未开始学习的知识点又可以分成两类:允许学习的知识点,不允许学习的知识点,可以直接从表现层实现。

(2) 回溯导航。系统可以在学习者浏览访问系统的链和节点时,把学习者的学习路径记录下来,可以让学习者按原来的路径返回,进行复习或是寻求帮助。由于链接的显示是个性的,会根据每个学习者的学习进展情况自动进行调整的,因此每次进行回溯学习时,和第一次进入该知识点时显示的链接是不一样的,因而不至于在回溯的过程中进入别的学习路径进行学习,避免进入重复“迷失”状态。

(3) 位置导航。位置导航就是在系统中始终提供当前学习的知识点,在全部知识点中的相对位置,目的是为了学习者明确当前学习知识点所处的地位。在系统中可以根据辈份关系来标识当前知识点在当前组织关系中的位置。

4.2 个性化导航

个性化导航主要是为了解决学习者在学习过程的“负担”和“孤独”问题。本文采用了相关鱼眼图导航和感知处理导航来实现个性化的导航问题。

4.2.1 相关鱼眼视图导航

在学习者学习过程中,对知识点的导航需要解决学习“负担”的问题。也就是说,当学习者重新浏览这些页面的时候,系统提供的导航只需要提供与此知识点相关的或是感兴趣的知识点,而不是把所有可能的浏览的知识点都作为导航链接显示出来。为了解决这个问题,本文采用了鱼眼视图 (fish-eye-view) 技术^[8]。鱼眼视图技术是依据兴趣程度,兼顾距离测量与重要性偏好发展起来的一种信息可视化技术,其用户关注程度可以用定量描述的量 D_{DOI} (Degree of Interest) 表示。针对本文的导航系统的鱼眼图定义相关 D_{DOI} 函数如下:

$$D_{DOI}(x|y) = I(x) + R(x, y) - D(x, y)$$

这里 $I(x)$ 反映的是节点 x 的重要程度(在整个超媒体网络中); $D(x, y)$ 是 x 与 y 之间的距离; $R(x, y)$ 表示节点 x 和 y 之间的相关程度,值越大表示它们之间的关系越密切。在本文定义了四类关系:父辈关系、依赖关系、参考关系、兄弟关系。可以视不同的情况设定不同的值,没有关系的可以设置为 0。 $D_{DOI}(x, y)$ 表示当用户位于节点 y 时,节点 x 的“可见度”,即对节点 x 的感兴趣程度。预先设定一个阈值,鱼眼图只显示那些 D_{DOI} 值大于阈值的节点。函数 $I(x)$ 可以有多种选择方案:一种是由作者事先设定好;另一种方法是系统监视和记录每个节点被访问的情况,根据过去被访问的次数和时间长短决定每个节点的重要程度。本文中采用两者相结合的方式来确定,被访问的次数越多,时间越长相对重要性越高。

4.2.2 感知空间导航

感知处理一直是 CSCW (Computer supported cooperative work) 中的一个核心问题。CSCL (Computer supported cooperative learn) 作为 CSCW 的分支,也需要解决整个环境中的

感知问题^[9]。在一个虚拟的学习环境系统中的学习者,若能方便地感知到其他学习者的学习导航情况,包括学习路径、学习时间、学习次数等,将能大大地提高学习效率。在本文中导航系统中,建立基于学习者学习情况的感知空间导航,通过感知空间导航,学习者可以感知到其他学习者的导航情况,提供给学习者参考,可以使学习者的不感觉到学习的“孤独”。

文中采用了路径选择的浏览偏爱度作为学习者感知处理的模型。浏览偏爱度度量可以通过如下描述获得:在某一个学习页面上,下一步可以有 n 种不同的浏览页面,即下一步学习有 n 种不同的选择,其中第 $k(k=1,2,3,\dots,n)$ 种选择的综合偏爱度量定义为

$$I = (C_k \cdot I_k) / ((\sum_{i=1}^n C_i) \cdot (\sum_{i=1}^n I_i) / n^2)$$

其中 C_i 表示第 i 种选择的支持度,即用户通过第 i 种选择进入下一页面的次数; I_i 表示用户通过第 i 种选择进入下一个页面浏览兴趣的时间度量的总和。系统根据综合偏爱度的大小顺序排列作为学习者的导航感知空间,学习者可以根据感知处理优先决定下一步学习的路径。

4.3 知识点关系导航

局部导航在学习过程中的导航,就是基于知识点关系的导航。在本系统中定义了四种关系辈份关系、依赖关系、参考关系、兄弟关系。

(1) 对于父辈关系的知识点导航策略,必须学完该知识组织关系中的所有知识点,才能继续往下学习。如图 3 所示,其中 B 节点、 C 节点和 A 节点是父辈关系,辅助库所 $P2$ 为控制库所。

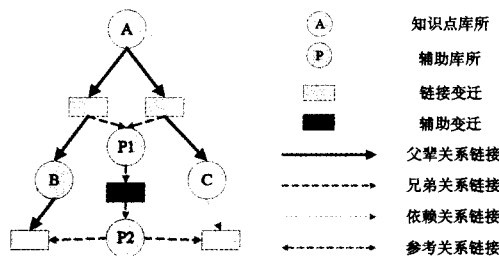


图3 辈份关系知识点导航模型

(2) 对于依赖关系的知识点导航策略,必须是考虑保持先后学习的顺序,也就是说必须学完知识点的所有前提知识点才能往下去学习。如图 4 所示,其中 BC 节点和 H 节点依赖关系,根据 Petri 网的库所触发机制就可以完成。

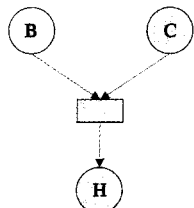


图4 依赖关系知识点导航模型

(3) 对于参考关系的知识点导航策略,提供给感兴趣的学习者 see also 或是帮助等链接功能。如图 5 所示,其中 D 节点和 E 节点是参考关系,控制库所 $P2$ 控制是否显示该链接。

(4) 对于兄弟关系知识点导航策略,学习者学习时必须作为一个完整的整体进行学习,一旦开始某一个兄弟关系

知识点的学习,必须学完该知识的所有兄弟知识点才能进行别的知识点的学习。如图 6 所示,其中 B 节点和 C 节点是兄弟关系, $P1$ 是控制库所。

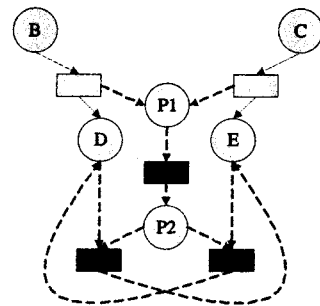


图5 参考关系知识点导航模型

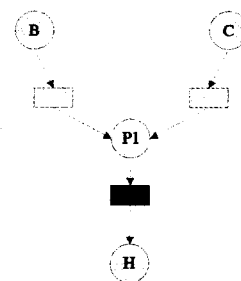


图6 兄弟关系的知识点导航模型

结论 本文利用知识结构理论结合知识点之间的关系提出了一类基于超媒体的学习导航系统模型,并通过 Petri 网构建了导航模型,该模型(1)提出了基于四类知识点关系的导航策略及模型;(2)提供包括全局导航、个性化导航和知识点关系导航在内的多种导航机制,提高学习者的学习导航效率;(3)利用鱼眼图和感知处理技术实现了基于学习者的导航机制,体现了网络导航的适应性特点。该学习导航系统模型有力地避免了超媒体系统存在的“负担”和“迷航”问题,一定程度上解决了学习者学习的“孤独”问题,为提高网上学习系统导航效率,提高网上学习的质量提供了有力的保证。

参考文献

- 郭健强,龚杰民. 超文本中的迷路问题[J]. 西安电子科技大学学报,1997(24):96~101
- 马瑞民,衣治安. WEB上超文本数据导航方法的研究[J]. 情报学报,2001,20(5):537~544
- Albert D. Knowledge Structure [M]. New York. Springer Verlag, 1994
- Albert D, Hockmeyer C. Adaptive and dynamic hypertext tutoring systems based on knowledge space theory [M]. In: du Boulay B, Mizoguchi R, eds. Artificial Intelligence in Education: Knowledge and Media in Learning Systems. vo 39 of Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Amsterdam, IOS Press, 1997. 553~555
- Stotts P D, Furuta R. Petri Net-based Hypertext Document Structure with Browsing Semantics [J]. ACM Transactions on Information System, 1989, 7(1): 3~29
- 胡宁静,谢深泉,蒋红艳. IHMCAI 系统中知识模型的构造[J]. 计算机工程与应用,2002(12):97~99
- 袁崇义. Petri 网原理[M]. 北京:电子工业出版社,1998
- Heer J. Card S K. Efficient user interest estimation in fisheye views [C]. In: ACM Conference on Human Factors and Computing Systems (CHI 2003) - Extended Abstracts, 2003 April 5-10, Fort Lauderdale; FL. NY: ACM, 2003. 836~837
- 詹永照,王进峰,毛启容. 协同学习环境中的嵌套式知识空间模型和感知处理[J]. 计算机研究与发展,2005,42(7):1159~1165